

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-195529

(43)Date of publication of application : 30.07.1996

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

C30B 25/04

H01S 3/02

(21)Application number : 07-005221

(71)Applicant : **NIPPON TELEG & TELEPH CORP**
<NTT>

(22)Date of filing : 17.01.1995

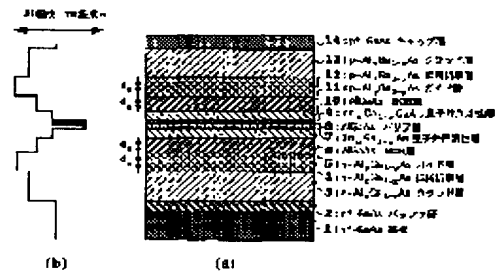
(72)Inventor : TENMYO JIRO
SUGO MITSURU

(54) SEMICONDUCTOR LASER EPITAXIAL CRYSTALLINE LAMINATE AND SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a semiconductor laser which can oscillate at the exciting wavelength of an optical fiber amplifier and has a narrow vertical radiation angle and high reliability of a stable lateral mode even at the time of a high optical output and a semiconductor laser epitaxial crystalline laminate used therefor.

CONSTITUTION: Low refractive index layers 4 and 12 having lower refractive index than those of upper and lower clad layers 3 and 13 are provided between the layers 3 and 13 for holding active layers 7 and 9 and upper and lower guide layers 5 and 11 provided between the clad layers and the active layers. The upper and lower clad layers and the upper and lower guide layers may be vertically asymmetrical with respect to the Al composition or the thickness.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-195529

(43)公開日 平成8年(1996)7月30日

(51)Int.Cl.⁶ 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所
H 0 1 S 3/18
C 3 0 B 25/04
H 0 1 S 3/02

H 0 1 S 3/ 02

Z

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-5221
(22)出願日 平成7年(1995)1月17日

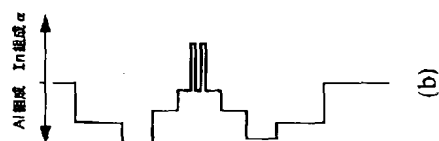
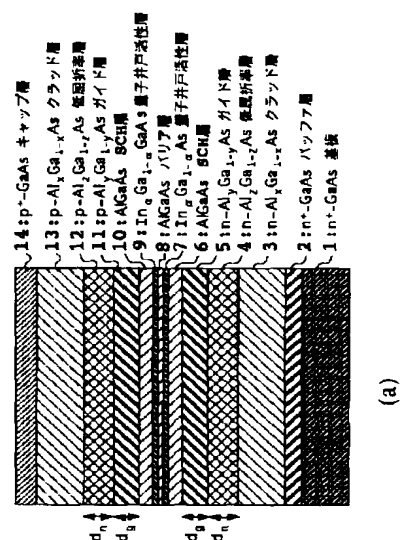
(71)出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(72)発明者 天明 二郎
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内
(72)発明者 須郷 満
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 半導体レーザエピタキシャル結晶積層体および半導体レーザ

(57)【要約】

【目的】 光ファイバ増幅器の励起波長で発振可能であり、狭垂直放射角を有し、高光出力時でも横モードが安定した高信頼性の半導体レーザおよびそれに用いられる半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の提供を目的とする。

【構成】 活性層7および9を挟む上下クラッド層3および13と、これらクラッド層と活性層との間に設けられた上下ガイド層5および11との間には、それぞれクラッド層よりも低い屈折率を有する低屈折率層4および12が設けられている。上下クラッド層および上下ガイド層は、そのAl組成または厚さに関して上下で非対称となっていてよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と、該活性層を上下方向から挟む上部クラッド層および下部クラッド層と、該両クラッド層と前記活性層との間にそれぞれ設けられた上部ガイド層および下部ガイド層と、を含む半導体エピタキシャル結晶積層体において、

前記上部クラッド層と前記上部ガイド層との間および前記下部クラッド層と前記下部ガイド層との間には、それぞれ近傍のクラッド層より屈折率の小さい低屈折率層が設けられたことを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項2】 請求項1記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記活性層は少なくとも一層の

【外1】

$\text{In}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{As}$ ($0.1 < \alpha < 0.4$) 量子井戸層からなるものであり、前記上部または下部クラッド層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ からなるものであり、前記上部または下部ガイド層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y < x$) からなるものであり、前記低屈折率層は $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z > x$) からなるものであることを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項3】 請求項2記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記上部クラッド層と前記下部クラッド層とは、そのAl組成が異なることを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項4】 請求項2記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記上部ガイド層と前記下部ガイド層とは、そのAl組成が異なることを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項5】 請求項2記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記上部クラッド層と前記下部クラッド層とは、その厚さが異なることを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項6】 請求項2記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記上部ガイド層と前記下部ガイド層とは、その厚さが異なることを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項7】 請求項2ないし6のいずれかの項に記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記各層は In が $1 \times 10^{19} \sim 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされ、かつ、前記各層からなる積層体は前記範囲の In 濃度を有する In コドーピング GaAs 基板上に設けられたことを特徴とする半導体レーザエピタキシャル結晶積層体。

【請求項8】 請求項1ないし7のいずれかの項に記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体を含むことを特徴とする半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信などに用いられる光ファイバ増幅器用励起光源並びにSHG（光第2高調波発生）光源としての利用が可能な半導体レーザおよびその半導体レーザを形成するための半導体エピタキシャル結晶積層体に関する。

【0002】

【従来の技術】 Er^{3+} イオンがドーピングされたシリカ系ファイバを増幅媒体とする光ファイバ増幅器は、石英系シングルモードファイバ（SMF）の光伝搬損失が最小になる $1.55 \mu\text{m}$ 帯での動作が可能であるため、光通信のキーデバイスとして注目を集めている。レーザ発振あるいは増幅に用いる Er^{3+} イオン励起光源波長としては $1.48 \mu\text{m}$ 、 $0.98 \mu\text{m}$ 、 $0.82 \mu\text{m}$ 帯が検討されている。また、最近では Pr^{3+} イオンがドーピングされたフッ化物ファイバを用いた $1.3 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器も提案され実験が進められている。この場合、最適励起波長は $1.017 \mu\text{m}$ である。特に、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯では、増幅効率が高く、ノイズ特性が良いことが確認されており、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器の励起波長として有望である。この $0.98 \mu\text{m}/1.02 \mu\text{m}$ 波長帯の実験用励起レーザとしては $\text{Ti}:\text{サファイア}$ レーザが用いられてきた。

【0003】 一方、最近、図2に示すような層構造を持つ InGaAs 層を活性層とする歪量子井戸レーザが、上記波長帯で発振するところから、小型の励起用半導体レーザとして盛んに研究されている。このような半導体レーザに関しては、低しきい値、高効率特性を有する $0.98 \mu\text{m}/1.02 \mu\text{m}$ レーザが報告されているが、垂直光放射角が大きく、シングルモードファイバとの結合効率が十分でなく、また、駆動電流を増加させた高光出力時になると、横モードが安定せず、シングルモードファイバ内に光が十分結合しないという問題があった。

【0004】 シングルモードファイバとの光結合効率を改善するためには、光垂直放射角の低減による真円化並びにスポットサイズの拡大が重要である。これらは、クラッド層の屈折率を活性層の屈折率に近づけるか、あるいは活性層を薄くすることで、活性層への光閉じ込めを緩めることにより実現できる。これまでの検討結果より、光垂直放射角 2.3° 並びに特性温度 100 K 、シングルモードファイバへの結合効率 50% 程度のものが得られているが、さらに、結合効率の改善を狙って、狭放射角にするために光閉じ込めを減らすと、発振しきい値の急激な増大、外部微分量子効率の劣化、可飽和吸収の発現並びに温度特性、信頼性の劣化が発生し、問題になっていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、 $0.86 \mu\text{m} \sim 1.07 \mu\text{m}$ 帯、特に波長 $0.98 \mu\text{m}$ 並びに $1.02 \mu\text{m}$ で発振し、 20° 以下の狭垂直放射角を

有し、かつ高光出力時においても横モードが安定した高信頼半導体レーザおよびその作製に用いられる半導体レーザエピタキシャル結晶積層体を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、活性層と、該活性層を上下方向から挟む上部クラッド層および下部クラッド層と、該両クラッド層と前記活性層との間にそれぞれ設けられた上部ガイド層および下部ガイド層と、を含む半導体エ

10

ピタキシャル結晶積層体において、前記上部クラッド層と前記上部ガイド層との間および前記下部クラッド層と前記下部ガイド層との間には、それぞれ近傍のクラッド層より屈折率の小さい低屈折率層が設けられたことを特徴とする。

【0007】ここで、請求項1記載の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体において、前記活性層は少なくとも一層の

【0008】

【外2】

$\text{In}_\alpha \text{Ga}_{1-\alpha} \text{As}$ ($0.1 < \alpha < 0.4$) 量子井戸層

【0009】からなるものであり、前記上部または下部クラッド層は $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ からなるものであり、前記上部または下部ガイド層は $\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y} \text{As}$ ($y < x$) からなるものであり、前記低屈折率層は $\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ ($z > x$) からなるものであってもよい。

【0010】また、上下のクラッド層のAl組成が非対称でもよく、上下のガイド層並びに上下の低屈折率層のAl組成が非対称かつ厚さも非対称の構造を有してもよい。

【0011】さらに、各層はInが $1 \times 10^{19} \sim 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされ、かつ、前記各層からなる積層体は前記範囲のIn濃度を有するInコドーピングGaAs基板上に設けられてもよい。

【0012】また、請求項8記載の発明は、半導体レーザであって、上記各半導体エピタキシャル結晶積層体を含むことを特徴とするものである。

【0013】

【作用】本発明の半導体エピタキシャル結晶積層体においては、クラッド層とガイド層との間にクラッド層より屈折率の小さい低屈折率層を導入したことにより、活性層への光閉じ込めを若干増加させ、あるいは若干低下させる程度に抑えながら、クラッド層への光のモレの距離を増大させることができる。従って、光導波路内の活性層近傍の光閉じ込めをほとんど劣化させないまま、クラッド層遠方まで光のモレだしを制御し発光領域を拡大できる。

【0014】一般に、結晶端面から放射された光は、回折されて有限の放射角を有する放射バタン（遠視野像）となるが、光源が小さければ回折が大きくなるので、本発明のように光のモレだしが大きければ、放射角も小さ

50

くなることが予想される。

【0015】ここで、遠視野像は、近似的には、近視野における電界分布（近視野像）のフーリエ変換で与えられ、これは、スリットによる回折像の場合と一致する。スリットが大きければ回折は大きく、スリットが小さければ回折は小さくなる現象と、定性的にも理解できる。

【0016】また、低屈折率層を有する構造に加え、上下の屈折率分布の非対称構造を導入することにより、光強度最大のポイントを、電子とホールが再結合している量子井戸層からSCH層あるいはガイド層へ若干ずらせば、端面溶融による劣化（COD: Catastrophic Optical Damage）を抑えることができ、また低屈折率層の存在により、高電流動作時、キャリアのオーバーフローによる光出力特性劣化も改善される。従って、低屈折率層と非対称屈折率構造により、垂直狭放射角と安定した高光出力動作が可能となる。

【0017】さらに、基板としてInコドーピングn-GaAs基板を用いて、各エピタキシャル層に、ほぼ同濃度のInをコドーピングし、上述したような屈折率構造をもたせれば、上記特性を有しながら、かつ、長期間にわたるレーザの劣化特性を飛躍的に改善できる。劣化モードの大きな要因である結晶転移の伝搬をInがピンニングするためである。

【0018】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【0019】（第1実施例）図1の（a）は本発明である半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第1の実施例を示す断面図であり、（b）は（a）の構造におけるAl組成とIn組成を示すグラフである。図1において、1は n^+ -GaAs基板、2は n^+ -GaAsバッファ層、3は n - $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ クラッド層（下部クラッド層）、5および11は $\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ ガイド層（下部ガイド層および上部ガイド層）、6および10は AlGaAs -SCH層（SCH: Separation-Confinement-Heterostructure, AlGaAs : Al組成比は0からガイド層組成比 z までの間のいずれかの値である）、8は AlGaAs バリア層（Al組成はSCH層と等しいかまたは小さい）、7および9は

【0020】

【外3】

$\text{In}_\alpha \text{Ga}_{1-\alpha} \text{As}$ 量子井戸活性層

【0021】（図では2重量子井戸であるが、単層から5層の範囲で選ぶことができる）、13は p - $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ クラッド層（上部クラッド層）、14は p^+ -GaAsキャップ層である。本実施例の半導体エピタキシャル結晶積層体においては、上下クラッド $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ 層13および3と上下ガイド $\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y}$

As層11および5との間に近傍のクラッド層よりAl組成の大きいAl₁₋₂Ga₁₋₂As低屈折率層12および4（上部低屈折率層および下部低屈折率層）があることを特徴とする。上記ガイド層の厚さd_gは0.1~0.5μmとされ、上記低屈折率層の厚さd_nは0.1~0.5μmとされる。図2に、比較のため、上記のような低屈折率層を有さない従来例の構造を示す。

【0022】図1の(a)に示した構造を実現するためには、まず、エピタキシャル結晶成長装置(MOVPE法：有機金属気相成長法あるいはMBE法：分子線エピタキシー法)を用いて、エピタキシャル層2から14まで成長する。典型的な値として下部クラッド層3および上部クラッド層13とのAl組成xを0.15~0.35μmとし、下部ガイド層5および上部ガイド層11のAl組成zを0.1~0.3μmとし、nドーパントとしてSe、Si等を下部クラッド層3、下部低屈折率層4および下部ガイド層5に5×10¹⁷cm⁻³程度ドーピングする。pドーパントとしてZn、Mg、Be等を用い、上部ガイド層11、上部低屈折率層12および上部クラッド層13にそれぞれ5×10¹⁷cm⁻³程度ドーピングする。下部ガイド層5および上部ガイド層11はそれぞれnあるいはpを低濃度ドーピングするか、あるいはアンドープで用いられる。また、0.98μm/1.02μmでレーザ発振を可能とするためには、

【0023】

【外4】

$\text{In}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{As}$ 量子井戸層

【0024】のIn組成比αおよび厚さtは、典型例としてそれぞれα=0.2、t=10nmまたはα=0.3、t=7.5nmとする。キャップ層14にはオーミック電極をとるため5×10¹⁹cm⁻³以上のZn等のpドーパントの高濃度ドーピングを行う。

【0025】結晶成長の後、キャップ層(コンタクト層)14およびクラッド層13を加工して、図3に示すような幅1.5~3μm程度のリッジを形成する。このリッジ形成のためには、ホトリソグラフィーでレジストをパターンニングし、これをマスクとしウエットあるいはドライのエッチングでコンタクト層14およびクラッド層13をエッチングする。深さは横モードを考慮して高次モードが立たない範囲で決定され、上部低屈折率層12あるいは上部ガイド層11までエッチングする場合もある。リッジ形成後、マスクを剥離し、スパッタリング等で絶縁膜15(SiO₂、SiN等)を表面全体に形成し、リッジ上部の絶縁膜をエッチオフした後、リッジ上部および絶縁膜15表面にCr/AlあるいはTi/Pt/Au等のp電極16を形成すると共にn⁺GaAs基板1の下面にAuGeNi等のn電極17を形成する。その後、オーミックシンターし、図3の半導体レーザ構造を得る。

【0026】なお、本実施例では、屈折率導波構造とし

て、リッジレーザの例を示したが、埋め込みレーザなど他のレーザ構造も当然考えられる。

【0027】図4に従来の低屈折率層を含まない半導体レーザエピタキシャル構造を含む半導体レーザの導波路内での光フィールド分布(近視野像)の例を示し、図5に本発明の低屈折率層を挟んだ構造を含む半導体レーザの導波路内での光フィールド分布(近視野像)の例を示す。図5に示すように本発明では低屈折率層の導入により活性層への光閉じ込めは若干増え、かつ活性層からクラッド層への光のしみだしは増大していることが分かる。図6および図7はそれぞれのファーストフィールドパターン(遠視野像)の計算値を示す。それぞれ、垂直放射角半値全巾は23°並びに13°である。図7に示すように、本実施例では、低屈折率層の導入により、フィールド分布が広がり、垂直放射角が低減されていることがわかる。

【0028】図8の(a)に光閉じ込め効率と垂直光放射角との関係を示し、(b)に発振しきい値並びに特性温度の関係の実験結果を示す。図8の(a)および(b)中において丸印が本発明の結果である。光閉じ込め効率を低下させず、垂直光放射角として、実験的にも16°(計算値13°)が得られ、この結果より、本発明によれば、光閉じ込め効率を落すことなく、即ち、発振しきい値I_{th}の上昇、並びに特性温度T₀の劣化を引き起こさずに、光垂直放射角の低減を図れることが分かる。また、(b)に示すように、しきい値の温度特性において、低屈折率層がない場合に比べ、60℃以上での特性温度の劣化が改善されると共に、従来500mW程度で熱飽和していた光出力特性も、高Al組成の低屈折率層の存在により、キャリアのクラッドへの熱オーバーフローが抑えられるため、600mW程度まで高出力化を図れることが確認された。

【0029】一方、リッジレーザの水平放射角はリッジ深さで制御可能であり、6~13°の範囲に垂直放射角とはほぼ独立に実現できる。従って、本発明のエピタキシャル構造を有する半導体レーザは、垂直放射角と水平放射角の比(楕円比)を従来の2~3の値に比べ、1.2~2程度まで大幅に低減できスポットの真円化が図れ、シングルモードファイバとの結合率も垂直放射角絶対値の低減とあいまって70~80%のものが容易に得られることがわかった。

【0030】以上述べたように、本実施例によれば、高寿命の0.98μm/1.02μm帯で光通信に必要な高出力光ファイバ励起用レーザを容易に実現できた。

【0031】(第2実施例)図9は本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第2の実施例を示す断面図である。本実施例では、下部クラッド層3、下部低屈折率層4および下部ガイド層5の各Al組成が上部の各層11~13のAl組成に比べ低く、また、低屈折率層4および12並びにガイド層5および11膜厚について

は上部の方が薄く、活性層を中心に上部各層と下部各層で非対称の構造となっている。

【0032】本実施例では、先の第1実施例に比べ、導波路内の光強度の最大になる場所を、半導体レーザエピタキシャル構造に導入された屈折率分布の非対称性により、活性層からずらしているため、高光出力時のモード安定性が増し、また、狭垂直放射角、低しきい値を実現しながら、活性層の結晶学的なダメージを受けにくいことがわかった。また、本実施例では、上部ガイド層への光の漏れだしを下部クラッド層のそれに比べ小さく選べば、上部クラッド層をそれほど厚くしなくても発振しきい値の劣化を抑えられることもわかった。

【0033】(第3実施例) 図10の(a)は本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第3の実施例を示す断面図であり、(b)は(a)の構造におけるA1組成とIn組成を示すグラフである。本実施例では、InコドープGaAs基板18上に全層Inドープされた第1実施例と同様の構成のレーザエピタキシャル層が積層されている。図10の(a)では、先の第1実施例のエピタキシャル構造を示すが、第2実施例のエピタキシャル構造の積層体をInコドープGaAs基板18上に積層してもよい。得られた結晶の表面モホロジーは、Inをコドープした基板18に格子整合され、クラック等の発生はみられず、通常のGaAs基板に比べて遜色ない。本実施例に用いられるInコドープGaAs基板は、例えば、水平/垂直ブリッジマン法あるいは引上げ法によるGaAs結晶成長時にInをコドープする方法により製造することができる。

【0034】本実施例の構造は、レーザとしての光出力特性並びに電気的な抵抗値も、Inをドープしない場合に比べ、変化はなく、Inコドープによる静的な特性への悪影響は見られなかった。また、本実施例では、先の各実施例における狭垂直放射角、低しきい値特性に加え、Inコドープによるクリスタルハードニング効果により転位が入りにくい等、長期的にも従来にない高安定な高出力レーザが得られた。

【0035】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体は、クラッド層とガイド層との間に、クラッド層より低屈折率な層を導入したことにより、活性層への光閉じ込めを低減することなく、等価的に光のモレをクラッド層に広げることができる。従って、通常従来見られる、発振しきい値の増大、温度特性の劣化を引き起こすことなく、垂直狭放射角化を実現できる。シングルモードファイバへの結合も、放射角の低減、ビームの楕円比の改善により、飛躍的に改善される。さらに、低屈折率層のバリア効果により、高電流動作時にキャリアのオーバフローが抑えられ、従来に比べ、より高光出力が得られる。また、基板をはじめ、エピ全層にInをコドープすることにより、高光出力時に

おいても、上記特長を維持しつつ、さらに、結晶内の転位の伝搬が抑えられ、より、高信頼のレーザが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第1の実施例を示す断面図であり、(b)は(a)の構造におけるA1組成とIn組成を示すグラフである。

【図2】(a)は従来の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の断面図であり、(b)は(a)の構造におけるA1組成とIn組成を示すグラフである。

【図3】本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の構造を有するエピタキシャル膜を用いたレーザ構成例を示す断面図である。

【図4】従来例のエピタキシャル構造を有する半導体レーザ内の活性層を中心とする導波路内の光強度分布計算値を示すグラフである。

【図5】本発明のエピタキシャル構造を有する半導体レーザ内の活性層を中心とする導波路内の光強度分布計算値を示すグラフである。

【図6】図4の近視野像に対応した遠視野像(計算値)を示すグラフである。

【図7】図5の近視野像に対応した遠視野像(計算値)を示すグラフである。

【図8】(a)は光閉じ込め計数と光垂直放射角の関係を示すグラフであり、(b)は光閉じ込め係数としきい値電流値ならびに特性温度の関係を示すグラフである。

【図9】(a)は本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第2の実施例を示す断面図であって、非対称な屈折率分布ならびに厚さを有する構造を示し、

(b)は(a)の構造におけるA1組成とIn組成を示すグラフである。

【図10】(a)は本発明の半導体レーザエピタキシャル結晶積層体の第3の実施例を示す断面図であって、Inコドープ基板上に形成され、かつ、全層Inがドープされたレーザエピ構造を示し、(b)は(a)の構造におけるA1組成とIn組成を示すグラフである。

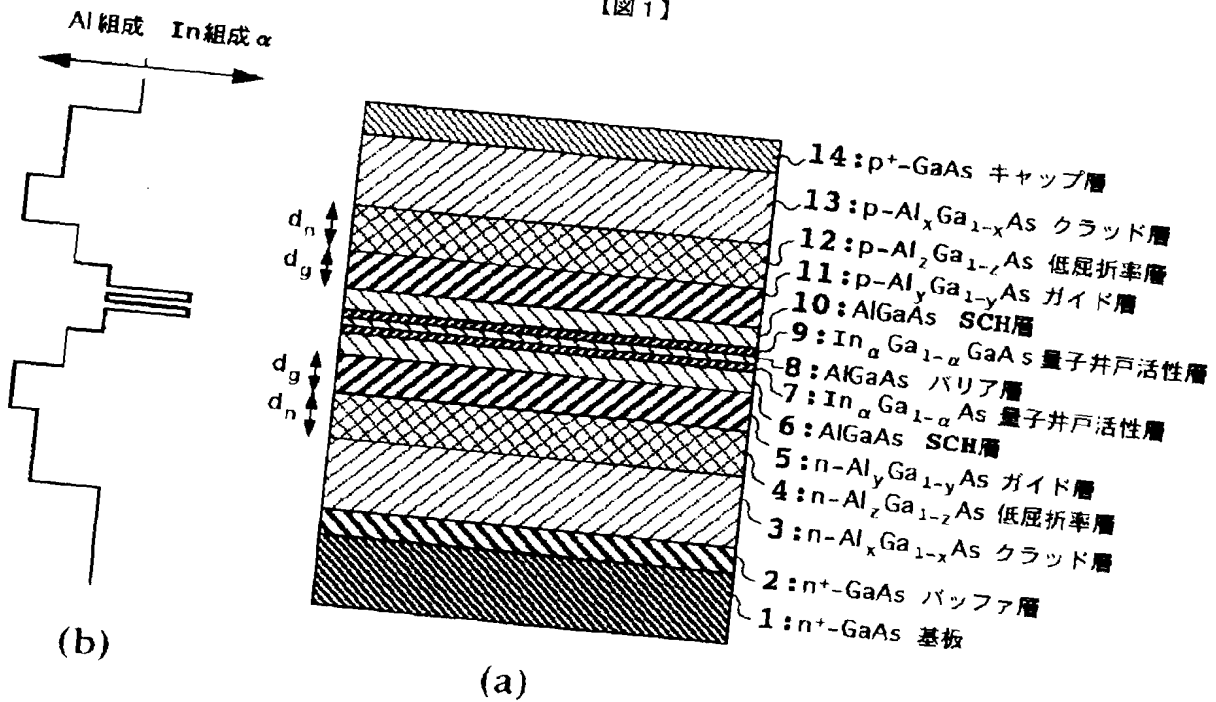
【符号の説明】

- 1 n^+ -GaAs基板
- 2 n^+ -GaAsバッファ層
- 3 n -Al_xGa_{1-x}Asクラッド層(下部クラッド層)
- 4 n -Al_zGa_{1-z}As低屈折率層(下部低屈折率層)
- 5 n -Al_yGa_{1-y}Asガイド層(下部ガイド層)
- 6 AlGaAs SCH層
- 【外5】
- 7, 9 $In_\alpha Ga_{1-\alpha} As$ 量子井戸層(活性層)
- 8 AlGaAsバリア層
- 10 AlGaAs CSH層

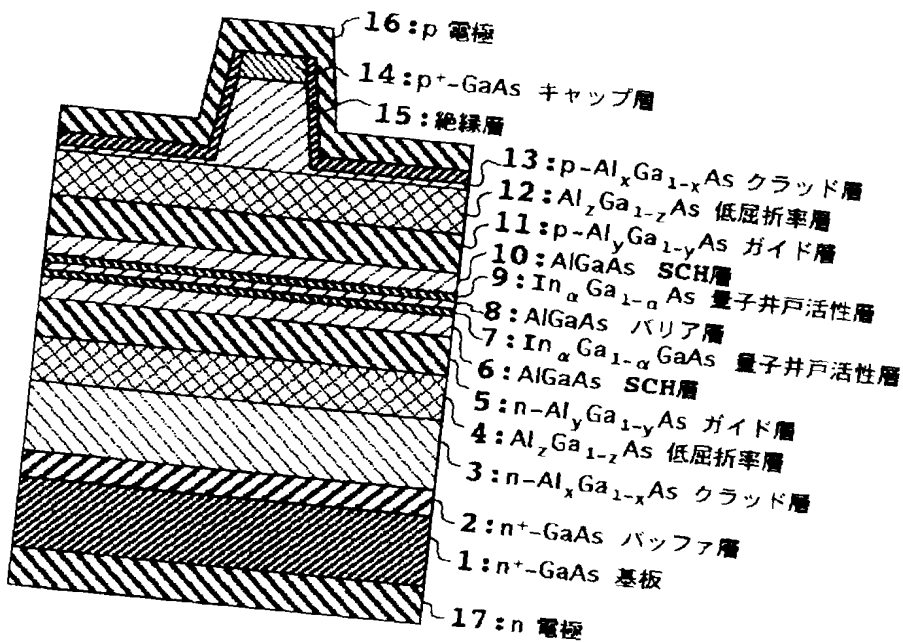
- 11 $p\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ガイド層 (上部ガイド層)
 12 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ 低屈折率層 (上部低屈折率層)
 13 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ クラッド層 (上部クラッド層)

- 14 $p^+\text{-GaAs}$ キャップ層
 15 絶縁層
 16 p電極
 17 n電極
 18 Inコドープ $n\text{-GaAs}$ 基板

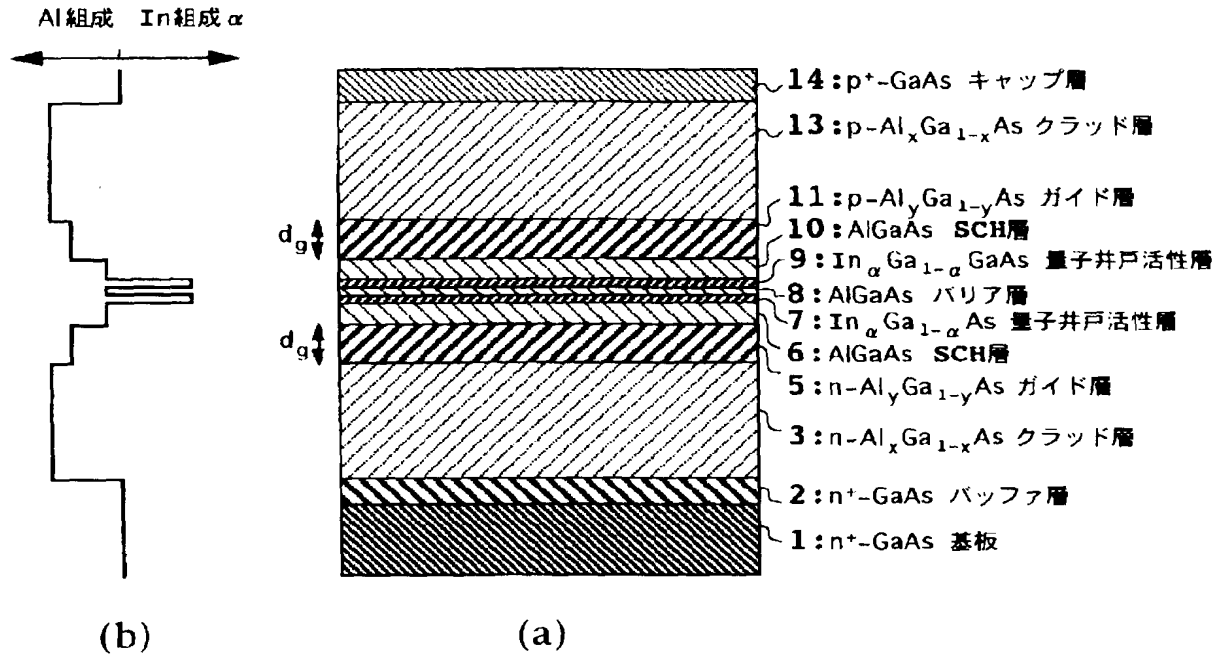
【図1】



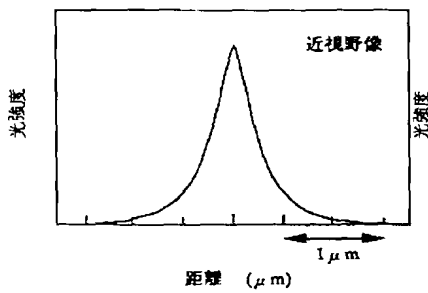
【図3】



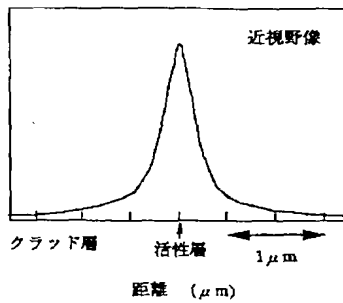
【図2】



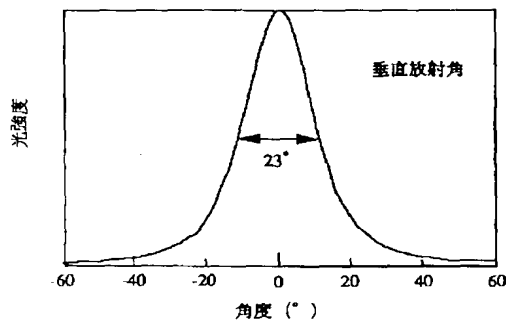
【図4】



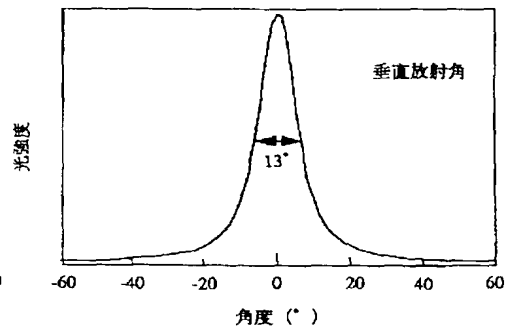
【図5】



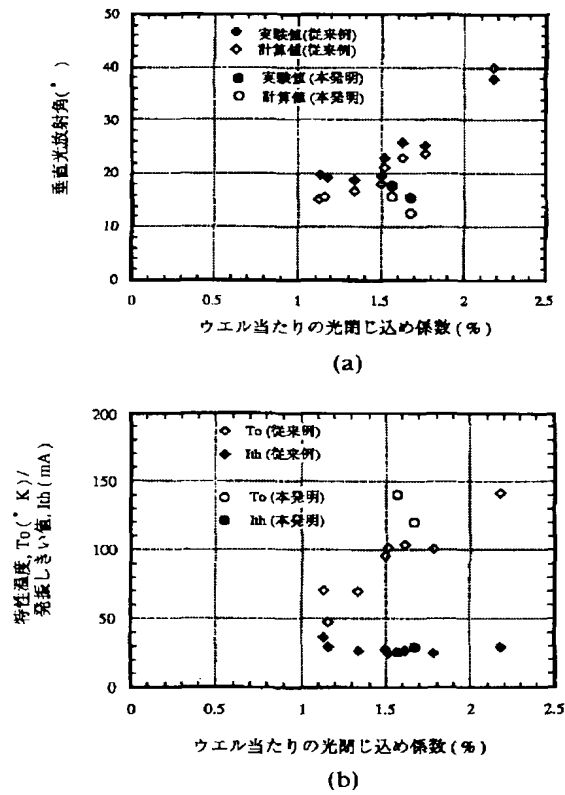
【図6】



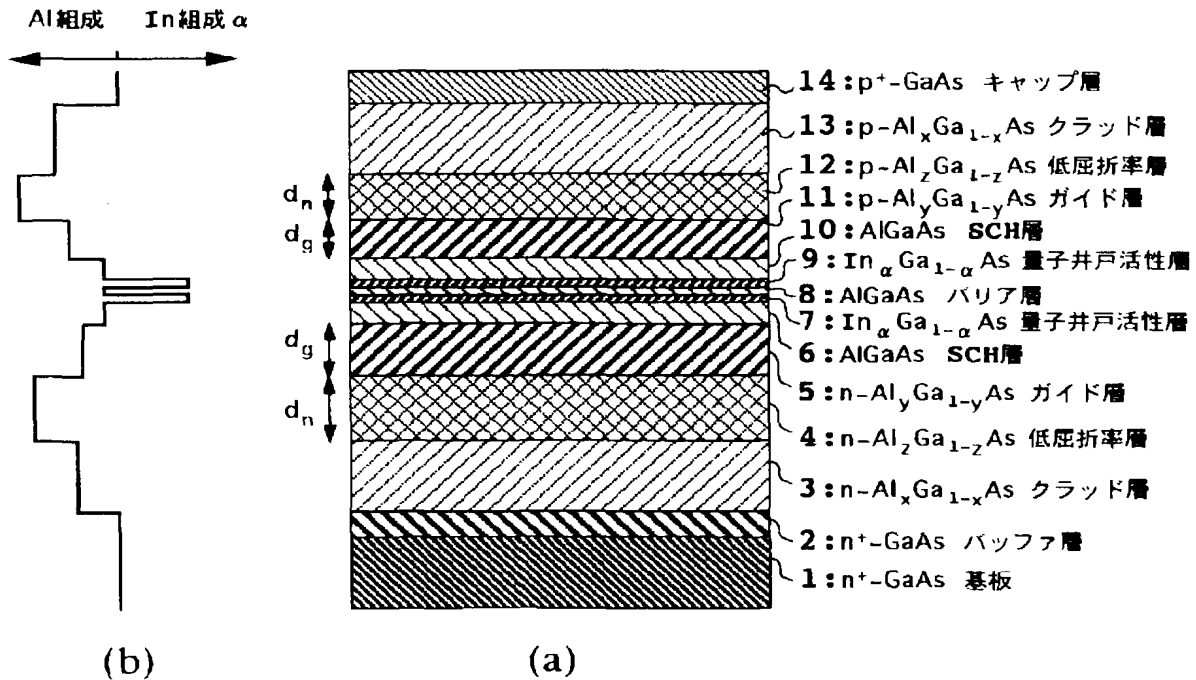
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

